

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 26 AUG 2004  
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 36 606.7

**Anmeldetag:** 08. August 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Stellverfahren und Stellvorrichtung für einen Aktor

**IPC:** H 02 N, F 02 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Juli 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Sl

Stremme

Best Available Copy

## Beschreibung

## Stellverfahren und Stellvorrichtung für einen Aktor

5 Die Erfindung betrifft ein Stellverfahren und eine Stellvorrichtung für einen Aktor eines Ventils, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 12.

10

In modernen Einspritzanlagen für Brennkraftmaschinen werden piezoelektrische Aktoren als Stellglieder für Einspritzventile eingesetzt, was im Vergleich zu herkömmlichen Magnetventilen eine hochdynamische Steuerung des Einspritzvorgangs ermöglicht. Der Hub eines derartigen piezoelektrischen Aktors und damit die Ventilstellung des zugehörigen Einspritzventils hängt von dem Ladungszustand ab, so dass der piezoelektrische Aktor entsprechend dem gewünschten Hub aufgeladen bzw. entladen werden muss.

15

20

Um den Verbrennungsverlauf in einer Brennkraftmaschine zu optimieren, ist es wünschenswert, dass der Kraftstoff in einem Arbeitstakt der Brennkraftmaschine in mehrere Portionen aufgeteilt werden kann. Um mit einem piezoelektrischen Aktor mehrere Voreinspritzungen sehr kleiner Kraftstoffmengen und darauffolgend eine Haupteinspritzung sowie bei Bedarf mehrere Nacheinspritzungen in schneller Abfolge darstellen zu können, muss der Aktor sehr schnell auf unterschiedliche Ladungszustände aufgeladen bzw. entladen werden. Zwischen den einzelnen Einspritzungen eines Arbeitstaktes sollte die Möglichkeit bestehen, den Aktor nicht vollständig zu entladen, d.h. das Ventil in einer minimal geöffneten Stellung zu halten, um ein schnelleres Ansprechen des Aktors bei der nächsten Ansteuerung zu ermöglichen und um Druckgradienten im Injektor zu vermeiden, die eine schnelle Abfolge von Einspritzungen unmöglich machen würden.

30

35

Außerdem ist es wünschenswert, dass der Aktor über Zwischenstellungen, bei denen das Ventil teilweise geöffnet ist, bis zu einem bestimmten Hub aufgeladen oder entladen werden kann, um störende Geräuschentwicklungen und Vibrationen möglichst gering zu halten und um Verschleißerscheinungen am Aktor oder am Ventil zu minimieren.

Zur elektrischen Ansteuerung piezoelektrischer Aktoren entsprechend dem gewünschten Hub ist aus DE 199 44 733 A1 eine Treiberschaltung mit einem Transformator bekannt, wobei die Primärseite des Transformators über einen Ladeschalter mit einer Versorgungsspannung verbunden ist, während die Sekundärseite über einen Entladeschalter mit dem piezoelektrischen Aktor verbunden ist. Durch eine geeignete pulsweitenmodulierte Ansteuerung des Ladeschalters und des Entladeschalters lässt sich der Ladezustand des piezoelektrischen Aktors entsprechend der gewünschten Stellung des Ventils einstellen, so dass das Einspritzventil zu den vorgegebenen Zeiten öffnet bzw. schließt. Bei der Ansteuerung eines bestimmten Hubs des Aktors zum Öffnen des Ventils auf einen Zwischenzustand, bei dem es teilweise geöffnet ist, wird eine Aktorkennlinie berücksichtigt, die einen Zusammenhang zwischen der auf den Aktor aufgebrauchten Ladung und dem Hub des Aktors darstellt.

Mit diesem Verfahren ist zwar eine Ansteuerung des Aktors auf einen bestimmten Hub möglich. Vor dem nächsten Öffnungszyklus des Ventils muss der Aktor allerdings vollständig entladen werden, wobei das Ventil geschlossen wird, um wieder einen definierten Ausgangszustand zu erreichen. Dies ist notwendig, da der Aktor beim Entladen nicht derselben Kennlinie folgt wie beim Laden. Gründe hierfür sind beispielsweise die Systemhysterese des Aktors oder parasitäre Widerstände.

Der Erfindung liegt also die Aufgabe zu Grunde, piezoelektrische Einspritzventile direkt nacheinander und in schneller Abfolge auf beliebige Hübe exakt anzusteuern, um optimale Einspritzabfolgen zu ermöglichen. Dabei soll es möglich sein,

diese Hübe über beliebige Ansteuerwege zu erreichen, um Geräuschemissionen, Vibrationen und Verschleiß minimieren zu können.

- 5 Die Aufgabe wird durch ein Stellverfahren und eine Stellvorrichtung für einen piezoelektrischen Aktor gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 12 gelöst.

- 10 Die Erfindung geht von der physikalischen Erkenntnis aus, dass nicht nur beim Laden des piezoelektrischen Aktors eine Aktorkennlinie verwendet werden kann, sondern auch für das Entladen, wobei die beiden Aktorkennlinien über die Systemhysterese in Verbindung stehen. Dadurch ist es möglich, von jeder beliebigen Ventilstellung jede beliebige andere Ventilstellung direkt anzusteuern. Um dies zu ermöglichen, müssen  
15 die Aktorkennlinien und die Hysterese des Aktors genau bekannt sein, um die Steuerung zu regeln. Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass sich die von der Steuerung angenommenen Aktorkennlinien und die tatsächliche Hysterese  
20 im laufenden Betrieb ändern können.

Das erfindungsgemäße Stellverfahren lädt oder entlädt den Aktor auf verschiedene Ladungszustände, die jeweils einer Ventilstellung entsprechen. Die Steuerung der Aufladung bzw. Entladung erfolgt dabei gemäß einem vorgegebenen Steuerungsverhalten entsprechend einem vorgegebenen Sollwert für den Ladungszustand. Das Steuerungsverhalten wird in Abhängigkeit einer Regelgröße, die den Ladungszustand des Aktors und/oder die Ventilstellung wiedergibt, geregelt.

30

- Die Regelung des Steuerungsverhaltens kann grundsätzlich in Abhängigkeit mindestens einer Regelgröße erfolgen, wobei die oben genannten Größen nur Beispiele sind. So ist auch eine Regelung in Kombination mit verschiedenen anderen Regelgrößen  
35 vorstellbar.

- Vorzugsweise werden die im Rahmen der Regelung ermittelten Größen mit einem Sollwert verglichen. So kann die Abweichung der gemessenen Ventilstellung von der Sollstellung, also die Abweichung von dem Sollwert des letzten Lade-/Entlade-
- 5 vorgangs, dazu verwendet werden, die Parameter der verwendeten Aktorkennlinien den physikalischen Eigenschaften des Aktors anzupassen und außerdem kann die Soll/Ist-Abweichung beim nächsten Lade-/Entladevorgang ausgeglichen werden.
- 10 Die Regelungsgröße wird vorzugsweise in einer Steuerpause zwischen zwei aufeinanderfolgenden Auf- bzw. Entladungen ermittelt. Dabei ist als geeigneter Zeitpunkt jede mögliche Wartezeit zwischen dem Ansteuern verschiedener Ladungszustände vorstellbar. Dies ist von Vorteil, da dadurch die Ermitt-
- 15 lung der Regelgröße nicht im zeitkritischen Bereich der Ansteuerung stattfindet. Während einer Ansteuerung mit hoher Geschwindigkeit ist eine exakte Messung unter Umständen schwierig.
- 20 Vorteilhafterweise wird auch das Steuerungsverhalten in einer Steuerungspause zwischen zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen eingestellt. Dadurch kann das Ansteuern eines gewünschten Ladungszustandes mit sehr hoher Geschwindigkeit erfolgen, da während des Ansteuerns keine Regelung notwendig ist. In einer Steuerpause kann in der zur Verfügung stehenden Zeit das Steuerungsverhalten, insbesondere die Aktorkennlinie und die Hysterese, neu berechnet werden.
- 30 In einer vorteilhaften Ausführungsform ist das Stellverfahren darauf ausgelegt, dass der Aktor auch auf Ladungszustände, die einer teilweise geöffneten Ventilstellung entsprechen, aufgeladen und/oder entladen werden kann. Mit dem teilweisen Öffnen des Ventils können Voreinspritzungen vorgenommen werden. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn während dem Ansteuern
- 35 des vollständig geöffneten Zustands Zwischenzustände angefahren werden, auf denen das Ventil eine Zeit lang gehalten wird, um die Geräuschentwicklung und um Vibrationen zu mini-

mieren. Durch ein derartiges gestuftes Öffnen bzw. Schließen des Einspritzventils lassen sich auch die strömungsdynamischen Vorgänge beim Einspritzvorgang optimieren. Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Stellverfahrens ist dabei, dass auch  
5 nach dem Ansteuern mehrerer Zwischenzustände (Laden/Entladen) die Ventilstellung noch exakt bekannt ist.

Vorzugsweise finden als Regelgrößen die Spannung am Aktor oder die Ladung des Aktors Verwendung. Diese Größen können  
10 auf unterschiedliche Weise ermittelt werden. So kann die Aktorspannung direkt abgegriffen werden oder auch relativ zu einem Bezugsniveau gemessen werden, falls der Aktor mit einem Widerstand gegen Masse abgeschlossen ist. Die Ladung des Aktors kann beispielsweise aus dem Integral der aufgebrachten  
15 Stromstöße, wobei sowohl Lade- als auch Entladestrom zu berücksichtigen ist, gewonnen werden. Es sind jedoch auch andere Größen als Regelgrößen vorstellbar, beispielsweise die Temperatur des Aktors.

20 Vorteilhafterweise wird das Steuerungsverhalten beim Laden von einer vorgegebenen Ladekennlinie bestimmt. Die Ladekennlinie kann beispielsweise einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Ladung und der Ladezeit darstellen. Umso größer die aufzubringende Ladung ist, umso größer ist die Ladezeit bei Pulsen konstanter Frequenz. Dieser Zusammenhang ist unter Umständen nicht linear, falls beispielsweise die Stärke der Stromstöße mit steigender Ladung des Aktors abnimmt. Die Ladekennlinie kann aber auch einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Ladung und der Anzahl der Pulse, mit denen  
30 der Aktor geladen wird, darstellen, wobei auch andere Zusammenhänge sinnvoll sein können. Dasselbe gilt auch für die Entladevorgänge, auch diese werden vorzugsweise durch eine oder mehrere unterschiedliche Entladekennlinien bestimmt. Dies ermöglicht das Ansteuern gewünschter Ventilstellungen mit hoher und einstellbarer Geschwindigkeit. Außerdem kann vorteil-  
35 hafterweise der Lade-/Entladevorgang in einer Lade-/Entladekurve über die Zeit eingestellt werden. In der Lade-

kurve wird beispielsweise festgelegt, dass während des Ladevorgangs das Ventil zu Beginn relativ langsam beschleunigt und zum Ende des Ladevorgangs relativ langsam gebremst wird, dazwischen jedoch mit hoher Geschwindigkeit bewegt wird. Solche über den Lade-/Entladevorgang variablen Geschwindigkeiten können vorzugsweise mit einer Pulsweitenmodulation der Ladungspulse gesteuert werden. Dies kann dazu dienen, hohe Druckgradienten zu vermeiden. Für unterschiedliche Lade-/Entladevorgänge können auch verschiedene Ladekurven Verwendung finden. Durch eine geeignete Wahl der Formen der Ladekurven kann die Geräuschemission, die Vibrationsanregung und der Verschleiß im Betrieb gesenkt werden. Die Lade-/Entladekennlinien, die Aktorkennlinien, die Hysterese und die Ladekurven können abrufbar in einer Speichereinheit gespeichert sein.

Die Regelung der Steuerung kann über eine Veränderung der Steilheit der Lade-/Entladekennlinie erfolgen. Dies könnte beispielsweise bedeuten, dass für eine bestimmte aufzubringende Ladung, entsprechend einem bestimmten Weg, pro Puls mehr Ladung aufgebracht wird. Dies kann vorteilhafterweise mit einer Pulsweitenmodulation der Stromstöße eingestellt werden. Analog können auch die Aktorkennlinien und die Ladekurven variiert werden.

Es ist jedoch auch alternativ vorstellbar, die Form der Lade-/Entladekennlinie zu variieren. Genauso können auch die Formen der Aktorkennlinien und der Ladekurven verändert werden.

Das Steuerungsverhalten kann auch durch die Ladedauer und/oder Entladedauer eines Lade-/Entladevorgangs bestimmt sein. Wird beispielsweise der Aktor mit Pulsen gleicher Stärke mit konstanter Frequenz geladen, so kann mit einer Verlängerung der Ladedauer entsprechend einer Erhöhung der Anzahl der pro Ladevorgang aufgebrauchten Pulse eine höhere Ladung, die in einem Vorgang aufgebracht wird, eingestellt werden. Mit einer Verkürzung der Ladedauer wird die aufgebrauchte La-

dung eines Ladevorganges verringert. Analoges gilt für den Entladevorgang. Neben den genannten Möglichkeiten zur Regelung der Steuerung entsprechen auch andere dem erfindungsgemäßen Gedanken. Insbesondere können Kombinationen der oben  
5 genannten Regelungsmöglichkeiten eingesetzt werden.

In einer besonders vorteilhaften Variante der Erfindung werden auch externe Messgrößen für die Regelung erfasst. Mit externen Messgrößen werden hier solche Messgrößen bezeichnet,  
10 die außerhalb des Bereichs Aktor mit dazugehöriger Treiberschaltung liegen. Dies kann beispielsweise der Druck am Injektor oder eine andere Messgröße aus dem Bereich der Brennkraftmaschine sein. Da der Druck am Ventil die Aktorkennlinie beeinflussen kann, ist es vorteilhaft, wenn die Regelung der  
15 Steuerung des Aktors unter Berücksichtigung dieser Größe erfolgt. Es sind aber auch andere Regelgrößen vorstellbar.

Vorteilhafterweise wird als externe Messgröße bei der Regelung der Steuerung die Kühlflüssigkeitstemperatur der Brennkraftmaschine oder die Öltemperatur der Brennkraftmaschine  
20 berücksichtigt.

Viele verschiedene Größen haben Einfluss auf das Hystereseverhalten und die Kennlinien des Aktors, weswegen es vorteilhaft sein kann, auch andere als die hier genannten Messgrößen zur Regelung der Steuerung heranzuziehen.

Dem Stellverfahren zugehörig ist eine erfindungsgemäße Stellvorrichtung zur gesteuerten Aufladung und/oder Entladung eines Aktors eines Ventils auf vorgegebene Ladungszustände mit einem vorgegebenen Steuerverhalten. Zur Anpassung des Steuerungsverhaltens weist die Stellvorrichtung vorzugsweise einen Regler auf, der eingangsseitig mit dem Aktor oder dem Ventil verbunden ist, wobei die Regelgröße den Ladungszustand des  
30 Aktors und/oder die Ventilstellung wiedergibt. Dadurch können beispielsweise Soll/Ist-Abweichungen ermittelt und für die  
35 Regelung herangezogen werden. Der Regler weist vorzugsweise



eine Speichereinheit auf, in der vorangegangene Ladevorgänge und Abweichungen gespeichert sind, damit auch Informationen von weiter zurückliegenden Lade- oder Entladevorgängen bei der Regelung berücksichtigt werden können.

5

Vorteilhafterweise ist der Steuerung der Ladungsvorgänge ein Regler überlagert, der eine der ermittelten Regelgrößen und/oder die Soll/Ist-Abweichung einer Regelgröße als Einganggröße verwendet.

10

Der Regler nutzt vorzugsweise Steuerpausen zum diskontinuierlichen Erfassen der Regelgröße und/oder zum diskontinuierlichen Einstellen des Steuerungsverhaltens.

15

Vorteilhaft ist auch, einen Sensor zur Erfassung der Öltemperatur oder der Kühlflüssigkeitstemperatur des Fahrzeugs mit dem Regler zu verbinden, damit dieser eine oder mehrere dieser Größen als Regelgrößen verwenden kann. Dies sind nur Beispiele, auch eine eingangsseitige Verbindung des Reglers mit anderen Sensoren zur Erfassung weiterer Regelgrößen kann sinnvoll sein.

20

Besonders vorteilhaft eignet sich das erfindungsgemäße Stellverfahren mit zughöriger Stellvorrichtung für Pumpe-Düse-Einspritzanlagen, jedoch ist die Erfindung auch mit Common-Rail-Einspritzanlagen realisierbar. Darüber hinaus ist die Erfindung auch bei einer Benzin-Direkteinspritzung (HPDI - High Pressure Direct Injection) anwendbar.

30

Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten oder werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

35

Figur 1 ein Schaltbild einer herkömmlichen Treiberschaltung zur elektrischen Ansteuerung eines Piezoak-

tors mit der erfindungsgemäßen Steuervorrichtung,

- Figur 2a-2c drei beispielhafte Regelschaubilder für die Steuereinheit aus Figur 1 sowie
- 5    Figur 3        das erfindungsgemäße Steuerverfahren als Flussdiagramm.

Die in Figur 1 dargestellte Treiberschaltung dient zur elektrischen Ansteuerung piezoelektrischer Aktoren von Einspritzventilen einer Brennkraftmaschine. Zur Vereinfachung ist

10    hierbei nur ein einziger Aktor CP dargestellt, obwohl bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine entsprechend der Anzahl von Brennräumen mehrere Aktoren vorhanden sind. Die nicht dargestellten Aktoren sind jedoch identisch aufgebaut

15    und parallel zu dem Aktor CP angeschlossen, wie durch die gestrichelten Linien angedeutet ist.

Der Aktor CP ist - wie die nicht dargestellten weiteren Aktoren für die anderen Brennräume der Brennkraftmaschine - in

20    Reihe mit einem Auswahlhalter 1 und einem Widerstand R1 geschaltet, wobei der Auswahlhalter 1 aus einer Parallelschaltung aus einem Schaltelement S1 und einer Diode D1 besteht. Der Auswahlhalter 1 ermöglicht es, einen der Aktoren für einen Lade- bzw. Entladevorgang auszuwählen, indem der jeweilige Schalter S1 durchschaltet, während die entsprechenden Schalter für die anderen Aktoren trennen.

Die Stromversorgung der Treiberschaltung erfolgt durch einen Spannungswandler 2, der ausgangsseitig durch einen Kondensator C1 gepuffert ist und beim Einsatz in einem Kraftfahrzeug

30    von dem Kraftfahrzeugbordnetz mit einer Netzspannung  $V_{cc}=12V$  versorgt wird. Alternativ hierzu kann die Erfindung auch in einem Kraftfahrzeugbordnetz mit einer Netzspannung von 42V eingesetzt werden.

35    Zwischen dem Aktor CP und dem Spannungswandler 2 ist hierbei ein Transformator 3 mit einer Primärwicklung W1 und einer Se-

kundärwicklung W2 angeordnet, wobei die Primärwicklung W1 mit dem Spannungswandler 2 verbunden ist, während die Sekundärwicklung mit dem Aktor CP verbunden ist.

- 5 Die Primärwicklung W1 des Transformators 3 ist in Reihe mit einem Widerstand R2 und einer Parallelschaltung aus einer Diode D2 und einem Ladeschalter S2 geschaltet. Zum Aufladen des Stellgliedes wird der Ladeschalter S2 beispielsweise mit vorgegebener Frequenz und vorgegebenem Tastverhältnis im Pulsbetrieb mit einer vorgegebenen Zahl von pulsweitenmodulierten  
10 Signalen bei der vorgegebenen Ladespannung angesteuert. Alternativ kann der Ladeschalter S2 beispielsweise auch mit variabler Frequenz angesteuert werden. Während des leitenden Zustandes des Ladeschalters S2 steigt der Strom durch die  
15 Primärspule W1 an und wird zu einem vorgegebenen Zeitpunkt durch Öffnen (nichtleitendsteuern) des Ladeschalters S2 abgebrochen. In dieser nichtleitenden Phase der Primärseite fließt über die Sekundärwicklung W2 bei einem dem Windungsverhältnis  $W2/W1$  entsprechenden Strom eine impulsförmige  
20 Spannung, die von einem Kondensator C2 geglättet wird, und lädt den Aktor CP mit jedem Strompuls weiter auf, bis schließlich nach der vorgegebenen Zahl von Pulsen eine vorgegebene Aktorspannung in etwa erreicht ist. Der Sekundärkreis wird beim Laden des Aktors CP über den Auswahlshalter 1 geschlossen.

Die Sekundärwicklung W2 des Transformators 3 ist dagegen in Reihe mit einem Widerstand R3 und einer Parallelschaltung aus einer Diode D3 und einem Schalter S3 geschaltet.

30

- Die Entladung des Aktors CP erfolgt ebenfalls dadurch, dass der Entladeschalter S3 pulsförmig leitend und nichtleitend gesteuert wird, wodurch die Aktorspannung sinkt. Dabei fließt der Strom von dem Aktor CP über die Sekundärwicklung W2, den  
35 Entladeschalter S3 und den Auswahlshalter 1 zurück zu dem Aktor CP.

Bei jedem Öffnen des Entladeschalters S3 wird ein Teil der Entladeenergie auf die Primärseite des Transformators 3 übertragen und in den Ladekondensator C1 rückgespeichert. Der Primärstromkreis schließt sich über die Diode D2.

5

Die Ansteuerung des Auswahlschalters 1, des Ladeschalters S2 sowie des Entladeschalters S3 erfolgt durch eine Steuereinheit 4, die hier nur schematisch dargestellt ist.

10 Hierbei berücksichtigt die Steuereinheit 4 in der dargestellten Version den Ladestrom, den Entladestrom, den Aktorstrom, die Aktorspannung, die primärseitige Spannung sowie externe Regelgrößen wie beispielsweise die Öltemperatur  $T_{\text{Öl}}$  und die Kühlfüssigkeitstemperatur  $T_{\text{Kühlfüssigkeit}}$ . Die Steuereinheit 4  
15 weist deshalb mehrere Messeingänge auf, die mit den spannungsseitigen Anschlüssen der Widerstände R1, R2 bzw. R3 sowie mit den spannungsseitigen Anschlüssen der Primärwicklung W1 bzw. der Sekundärwicklung W2 und mit Sensoren zur Ermittlung der anderen oben genannten Größen verbunden sind.

20

Die Figuren 2a bis 2c zeigen beispielhafte einfache Ausführungsformen des Regelkreises der Steuereinheit 4 aus Figur 1. Die Steuerung 5 erhält einen Sollwert  $S_{\text{Soll}}$  für die Aktorstellung, der einer Ventilstellung entspricht. Die Steuereinheit lädt oder entlädt den Aktor 6 über die Treiberschaltung aus Figur 1 mit einer vorgegebenen Ladekennlinie entsprechend des Sollwerts  $S_{\text{Soll}}$ . Die Steuerung 5 in Figur 2a verwendet dazu eine Aktorkennlinie, die einen Zusammenhang zwischen dem Weg und der aufzubringenden Ladung darstellt und eine Ladekennlinie, die einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Ladung und der Ladezeit  $T_{\text{Lade}}$  darstellt. Der Aktor 6 erreicht nach dem Lade-/Entladevorgang die Aktorstellung  $S_{\text{Ist}}$ , die in etwa der Vorgabe  $S_{\text{Soll}}$  entspricht. Die Differenz  $\Delta S$  zwischen  $S_{\text{Soll}}$  und  $S_{\text{Ist}}$  verwendet ein Regler 7 um Parameter der Steuerung 5, insbesondere um die verwendete Aktorkennlinie dem ermittelten Aktorverhalten anzupassen. Beispielsweise wird dann der gleiche vorgegebene Aktorweg in einem der folgenden Lade-

30

35

/Entladevorgänge mit einer anderen Ladung und dementsprechend mit einer anderen Ladezeit  $T_{Lade}$  angesteuert.

In Figur 2b ist ein anderer einfacher Regelkreis dargestellt. Er entspricht weitgehend dem der Figur 2a, mit dem Unterschied, dass die Steuerung 5' hier eine Ladekennlinie verwendet, die einen Zusammenhang zwischen der Anzahl  $n$  der Pulse, mit denen der Aktor 6' während eines Lade-/Entladevorgangs angesteuert wird, und der vorgegebenen Ladung darstellt.

In Figur 2c erfolgt das Laden bzw. Entladen des Aktors 6'' mit pulsweitenmodulierten Stromstößen. Dadurch kann nicht nur die Steilheit der Ladekennlinie oder die Dauer des Ladevorgangs sondern auch die Form der Ladekennlinie durch den Regler 7'' beeinflusst werden. Außerdem ist hier beispielhaft ein Eingang für ein externes Sensorsignal dargestellt. Der Regler 7'' berücksichtigt bei der Regelung der Steuerung auch die Öltemperatur  $T_{öl}$  des die Steuereinheit enthaltenden Fahrzeugs.

Figur 3 enthält ein schematisches Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Stellverfahrens. Es wird ein Sollwert  $S_{soll}$  für die Ventilstellung vorgegeben. Die Steuerung 5, 5', 5'' lädt/entlädt den Aktor CP, 6, 6', 6'' entsprechend des Sollwertes  $S_{soll}$ . Dabei verwendet sie eine Aktorkennlinie, die einen Zusammenhang zwischen dem gewünschten Weg und der aufzubringenden Ladung (positiv oder negativ) herstellt. Mit der so für den Weg ermittelten Ladung wird entsprechend einer vorgegebenen Lade-/Entladekennlinie der Aktor CP, 6, 6', 6'' aufgeladen bzw. entladen. Dies erfolgt vorzugsweise mit pulsweitenmodulierten Stromstößen. Die vom Ventil tatsächlich angefahrne Stellung  $S_{ist}$  wird direkt oder aus einer anderen Größe, beispielsweise der Aktorladung, ermittelt. Durch einen Vergleich des Sollwerts  $S_{soll}$  mit dem Istwert  $S_{ist}$  wird der Stellfehler ermittelt. Dieser Stellfehler wird verwendet, um das Steuerungsverhalten der Steuereinheit neu zu regeln. Hierbei können auch externe Regelgrößen berücksichtigt wer-

den. Das neu geregelte Steuerungsverhalten wirkt sich bei der nächsten Auf- bzw. Entladung des Aktors CP, 6, 6', 6'' auf einen neuen Sollwert  $S_{\text{Soll}}'$  aus.

- 5 Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene bevorzugte Ausführungsbeispiel beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen.

## Patentansprüche

1. Stellverfahren für einen Aktor eines Ventils, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor (CP, 6, 6', 6'') eines  
5 Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, mit folgenden Schritten:
  - Aufladung und/oder Entladung des Aktors (CP, 6, 6', 6'') auf verschiedene Ladungszustände, die jeweils einer Ventilstellung entsprechen,
  - 10 - Steuerung der Aufladung und/oder der Entladung gemäß einem vorgegebenen Steuerungsverhalten entsprechend einem vorgegebenen Sollwert ( $S_{\text{Soll}}$ ) für den Ladungszustand,  
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h  
folgende Schritte:
  - 15 - Ermittlung einer Regelgröße ( $S_{\text{Ist}}$ ), die den Ladungszustand des Aktors (CP, 6, 6', 6'') und/oder die Ventilstellung wiedergibt,
  - Regelung des Steuerungsverhaltens in Abhängigkeit von der Regelgröße ( $S_{\text{Ist}}$ ).
- 20 2. Stellverfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die Regelgröße ( $S_{\text{Ist}}$ ) in einer Steuerpause zwischen zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen ermittelt wird.
3. Stellverfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass das Steuerungsverhalten in einer Steuerpause zwischen  
zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen eingestellt  
30 wird.
4. Stellverfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
35 dass der Aktor (CP, 6, 6', 6'') auch auf Ladungszustände aufgeladen und/oder entladen wird, die einer teilweise geöffneten Ventilstellung entsprechen.

5. Stellverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zur Ermittlung der Regelgröße ( $S_{Ist}$ ) die Spannung an dem  
5 Aktor (CP, 6, 6', 6'') und/oder die Ladung des Aktors (CP, 6,  
6', 6'') gemessen wird.
6. Stellverfahren nach mindestens einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
10 dadurch gekennzeichnet,  
dass das Steuerungsverhalten für die Aufladung durch eine  
vorgegebene Ladekennlinie und/oder das Steuerungsverhalten  
für die Entladung durch eine vorgegebene Entladekennlinie be-  
stimmt wird, wobei die Ladekennlinie und die Entladekennlinie  
15 eine vorgegebene Form und Steilheit aufweisen.
7. Stellverfahren nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass im Rahmen der Regelung die Steilheit der Ladekennlinie  
20 und/oder der Entladekennlinie eingestellt wird.
8. Stellverfahren nach Anspruch 6 oder 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass im Rahmen der Regelung die Form der Ladekennlinie  
und/oder der Entladekennlinie eingestellt wird.
9. Stellverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Steuerungsverhalten durch die Ladedauer und/oder die  
30 Entladedauer ( $T_{Lade}$ ) bestimmt wird, wobei im Rahmen der Rege-  
lung die Ladedauer und/oder die Entladedauer ( $T_{Lade}$ ) einge-  
stellt wird.
10. Stellverfahren nach mindestens einem der vorhergehenden  
35 Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,



dass zusätzlich mindestens eine externe Messgröße erfasst und das Steuerungsverhalten in Abhängigkeit von der externen Messgröße geregelt wird.

- 5 11. Stellverfahren nach Anspruch 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die externe Messgröße die Kühlflüssigkeitstemperatur ( $T_{\text{Kühlflüssigkeit}}$ ) und/oder die Öltemperatur ( $T_{\text{Öl}}$ ) ist.
- 10 12. Stellvorrichtung für mindestens einen Aktor eines Ventils, insbesondere einen piezoelektrischen Aktor (CP, 6, 6', 6'') eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, mit  
einer Steuerung (5, 5', 5'') zur gesteuerten Aufladung  
15 und/oder Entladung des Aktors (CP, 6, 6', 6'') auf vorgegebene Ladungszustände entsprechend einem vorgegebenen Sollwert ( $S_{\text{Soll}}$ ),  
wobei die Ladungszustände jeweils einer Ventilstellung entsprechen und die Steuerung (5, 5', 5'') ein vorgegebenes  
20 Steuerungsverhalten aufweist,  
einem Regler (7, 7', 7'') zur Anpassung des Steuerungsverhaltens der Steuerung (5, 5', 5''),  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass der Regler (7, 7', 7'') zur Erfassung einer Regelgröße ( $S_{\text{Ist}}$ ) eingangsseitig mit dem Aktor (CP, 6, 6', 6'') und/oder  
30 dem Ventil verbunden ist, wobei die Regelgröße ( $S_{\text{Ist}}$ ) den Ladungszustand des Aktors (CP, 6, 6', 6'') und/oder die Ventilstellung wiedergibt.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12,  
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass der Regler (7, 7', 7'') der Steuerung (5, 5', 5'') überlagert ist.

14. Stellvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 12 bis 13,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

- 5 dass der Regler (7, 7', 7'') die Regelgröße ( $S_{Ist}$ ) diskontinuierlich jeweils in Steuerpausen erfasst und/oder das Steuerungsverhalten diskontinuierlich jeweils in Steuerpausen einstellt.

- 10 15. Stellvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 12 bis 14,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

- 15 dass der Regler (7, 7', 7'') zur Erfassung mindestens einer weiteren Regelgröße eingangsseitig mit mindestens einem Sensor verbunden ist, der die räumliche Lage ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) und/oder die Öltemperatur ( $T_{öl}$ ) und/oder die Kühlflüssigkeitstemperatur ( $T_{Kühlflüssigkeit}$ ) eines die Stellvorrichtung enthaltenden Fahrzeugs erfasst.

## Zusammenfassung

## Stellverfahren und Stellvorrichtung für einen Aktor

- 5 Stellverfahren und Stellvorrichtung für einen Aktor eines Ventils, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, wobei der Aktor gemäß einem vorgegebenen Steuerungsverhalten auf verschiedene Ladungszustände geladen wird, die jeweils einer Stellung des
- 10 Ventils entsprechen. Es wird vorgeschlagen, dass eine Regelung des Steuerverhaltens in Abhängigkeit von einer Regelungsgröße vorgenommen wird, wobei die Regelungsgröße den Ladungszustand des Aktors und/oder die Ventilstellung wiedergibt.

15

(Figur 3)

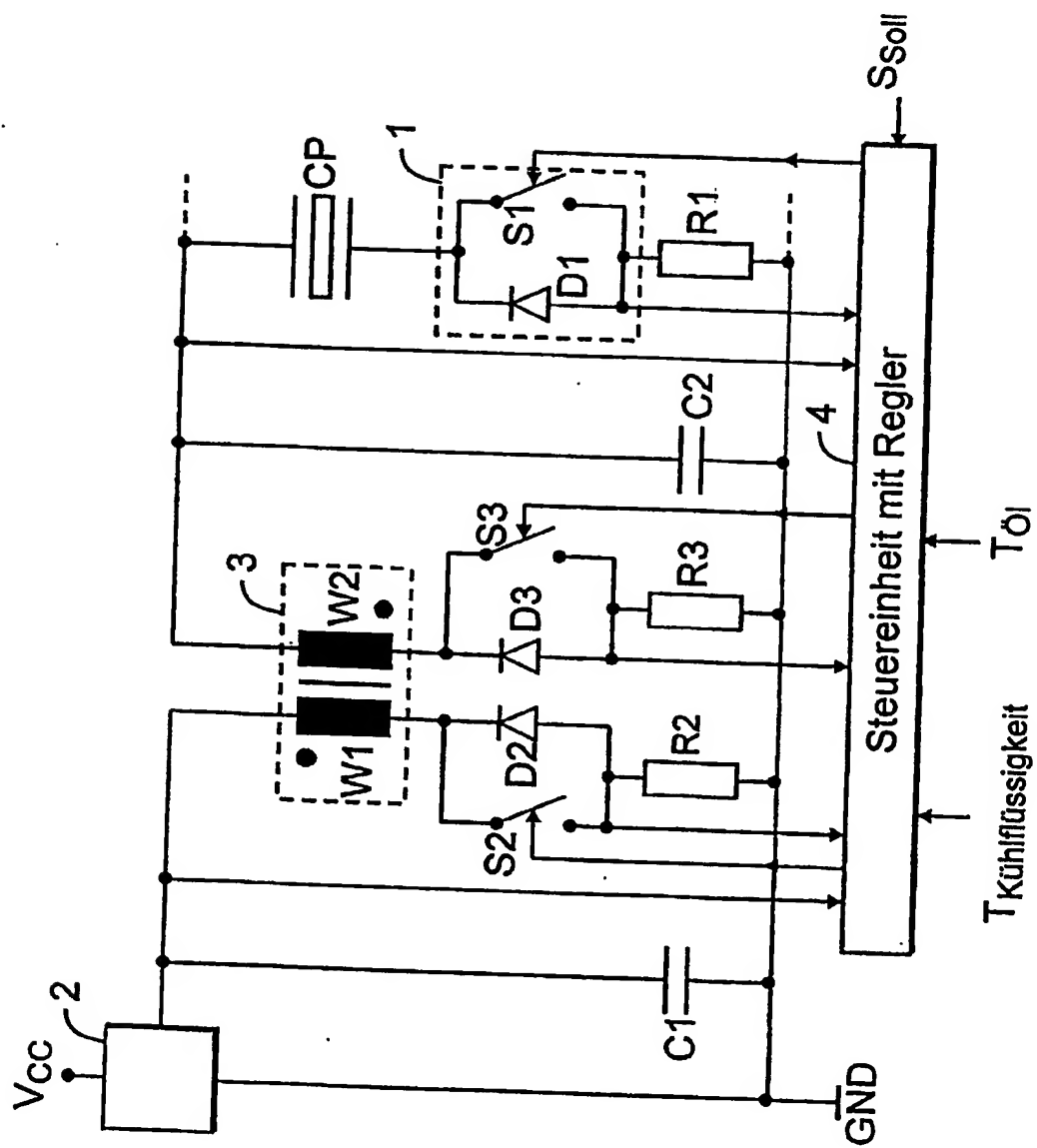


FIG 1

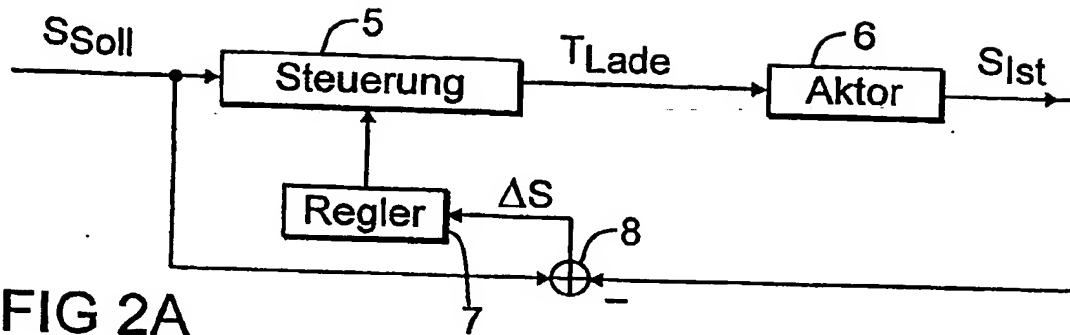


FIG 2A

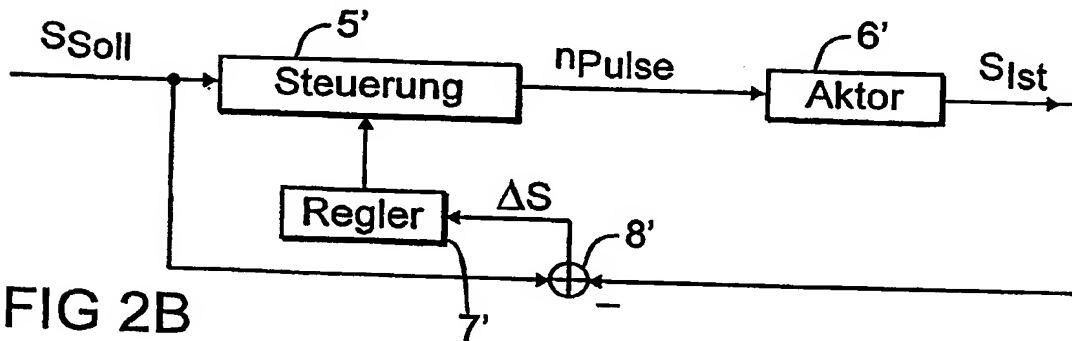


FIG 2B

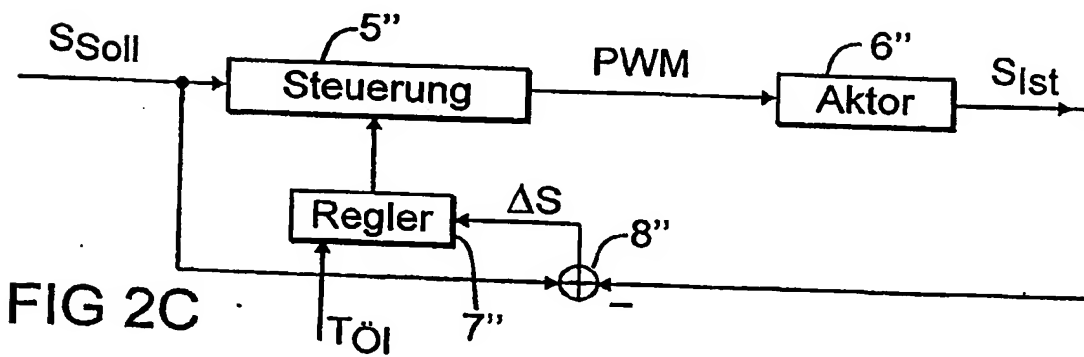


FIG 2C

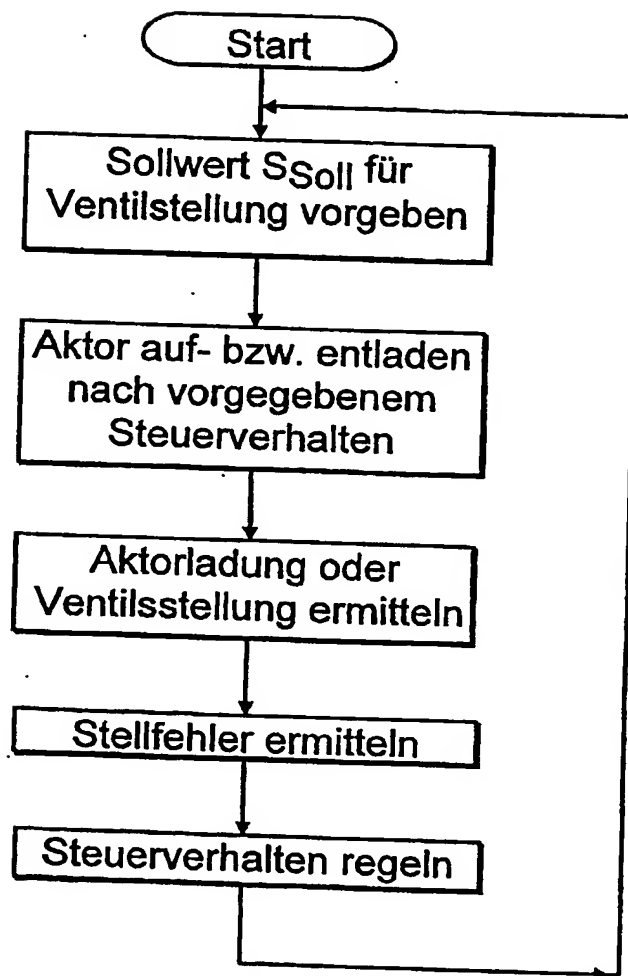


FIG 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**